

PCT/EP2004/000614

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



REC'D: 10 AUG 2004	
WIPO	PCT

EP04/6144

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 30 872.5

**Anmeldetag:** 09. Juli 2003

**Anmelder/Inhaber:** INA-Schaeffler KG, 91074 Herzogenaurach/DE

**Bezeichnung:** Vorrichtung und Verfahren zum Bestimmen des Verdrehwinkels einer Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle eines Verbrennungsmotors

**IPC:** F 01 L, F 02 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 3. Mai 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

BEST AVAILABLE COPY

Klostermeyer

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

**INA-Schaeffler KG,  
Industriestraße 1 – 3, 91074 Herzogenaurach  
ANR 12 88 48 20**

5 4223-10-DE

**Bezeichnung der Erfindung**

10 **Vorrichtung und Verfahren zum Bestimmen des Verdrehwinkels einer Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle eines Verbrennungsmotors**

**Beschreibung**

15

**Gebiet der Erfindung**

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Bestimmen des Verdrehwinkels einer Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle eines Verbrennungsmotors, insbesondere nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

20

**Hintergrund der Erfindung**

Ein Nockenwellenversteller dient der exakten Einhaltung eines Sollwinkelverlaufs des Verstellwinkels der Nockenwelle. Bedingt durch Störgrößen wie Schwankungen des Antriebsmoments der Nockenwelle kommt es im praktischen Motorbetrieb zu Abweichungen zwischen Sollwinkel- und Istwinkelverlauf. Eine Verringerung dieser Abweichungen kann zur Verringerung von Schadstoffemission und Kraftstoffverbrauch, zur Steigerung von Motorleistung und Drehmoment sowie zur Absenkung der Bordnetzbelastung beim Motorstart und der Motordrehzahl im niedrigen Leerlauf führen. Besonders wichtig ist die Einhaltung des optimalen Verstellwinkels beim Motorstart, um die hohe Schadstoffemission in diesem Betriebszustand zu senken.

In der DE 43 17 527 A1 ist ein Verfahren zum Bestimmen des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  einer Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle eines Verbrennungsmotors offenbart, der einen hydraulischen Nockenwellenversteller mit einem elektronischen Regler und Mittel zur Bestimmung der Drehwinkellage der Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle aufweist.

Bei diesem System wird zur Regelung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  der Nockenwelle die Drehzahl und Drehwinkellage der Kurbel- und Nockenwelle erfasst. Dazu dienen Triggerräder die an der Kurbel- und Nockenwelle befestigt sind. Je ein Sensor erfasst die jeweiligen Referenz- und Triggermarken, die in dem elektronischen Regler zur Bestimmung von Drehzahl und Drehwinkellage der Wellen und zur Berechnung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  dienen.

Nachteilig an dieser Lösung sind der erforderliche Aufwand und die unzureichende Genauigkeit der Signalerfassung sowie die bei hydraulischen Nockenwellenverstellern relativ langsame, ungenaue und nur im normalen Motorbetrieb mögliche Verstellung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$ .

### Aufgabe der Erfindung

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zu Grunde, eine Möglichkeit zu schaffen, den Verdrehwinkel  $\Delta\Phi$  zwischen einer Nockenwelle und der Kurbelwelle eines Verbrennungsmotors mit hoher Geschwindigkeit und Genauigkeit zu bestimmen.

### Zusammenfassung der Erfindung

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die Merkmale des Vorrichtungsanspruchs 1 gelöst.

Der elektromechanische Nockenwellenversteller bietet gegenüber hydraulischen Nockenwellenverstellern den Vorteil einer raschen und exakten Verstellung und Fixierung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  der Nockenwelle. Das gilt für den

gesamten Betriebsbereich des Verbrennungsmotors einschließlich der Anlassphase.

5 Der BLDC-Motor arbeitet mit elektronischer Kommutierung, so dass die Reibung und der Verschleiß von Bürsten und Kommutator entfallen. Das geringe Trägheitsmoment und das hohe Drehmoment des Dauermagnetrotors ermöglichen eine hohe Verstellgeschwindigkeit des BLDC-Motors.

10 Die elektronische Kommutierung erfolgt mittels Kommutierungssignalen, die durch die Drehbewegung des Dauermagnetrotors in Sensoren erzeugt und in einem Kommutierungsrechner verarbeitet werden. Dabei ist ein Sensor für jede der drei Phasen des Stators erforderlich.

15 Die Kommutierungssignale eignen sich auch zur Bestimmung der Drehwinkel- lage der Nockenwelle und zusammen mit den Referenz- und Triggermarkensignalen des Kurbelwellentriggerrads zum Bestimmen des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  der Nockenwelle. Auf diese Weise erübrigen sich das sonst erforderliche Triggerrad der Nockenwelle und dessen Sensor. Dadurch werden Kosten, Bauraum und Gewicht eingespart.

20 Als Sensoren zur Erzeugung der Kommutierungssignale kommen an sich bekannte Hall- und Reluktanzsensoren oder optische, induktive oder kapazitive Sensoren in Frage.

25 Besonders vorteilhaft ist die Erzeugung der Kommutierungssignale durch Selbstinduktion in den drei Phasen des Stators. Der dadurch ermöglichte Fortfall der Sensoren vermindert die Kosten und die Störanfälligkeit insbesondere als Folge der hohen Temperatur des BLDC-Motors.

30 Der Bauraumbedarf der Sensoren und deren Bauaufwand werden dadurch gesenkt, dass diese in Bauteilen des BLDC-Motors einbaubar sind, die mit Rotordrehzahl umlaufen, wie z. B. Lager- oder Dichtringe.

Ein problemloser Start und Hochlauf des Verbrennungsmotors ist dadurch gewährleistet, dass ein RAM bzw. ein EPROM in einem Steuergerät oder ein aktiver, speicherfähiger Hallsensor vorgesehen sind, die die Zähler und damit die Position der Nockenwelle im Stillstand oder beim Anlassen des Verbrennungsmotors speichern bzw. erkennbar machen.

Die aktiven Hallsensoren reagieren bereits bei angelegter Spannung auf Nord- bzw. Südpol und erkennen so die Position der Nockenwelle unmittelbar nach Betätigung des Zündschlosses bzw. beim Anlassen des Verbrennungsmotors.

10 Auf diese Weise kann ein Verstellen oder Halten der Sollverstellposition auch beim Anlassvorgang des Verbrennungsmotors erfolgen.

Die in den Speichern abgelegten Zählerdaten lassen die Position der Nockenwelle sogar schon bei Motorstillstand erkennen und korrigieren. In beiden Fällen werden Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemission in der kritischen Startphase minimiert.

Im Allgemeinen geht beim Abstellen des Verbrennungsmotors die Winkellageninformation verloren. Dann muss beim Motorstart der Rotor zur Kurbelwelle erneut synchronisiert werden. Registriert der Kurbelwellensensor ein eindeutig identifizierbares Ereignis, beispielsweise einen fehlenden Zahn am Anlasserzahnkranz, so wird die Lage der Kurbelwelle zu einem festen Bezugspunkt, zum Beispiel zum oberen Totpunkt des ersten Zylinders erkannt. Kommt ein Zahn des Triggerrades der Nockenwelle am Nockenwellensensor vorbei so wird die Position der Nockenwelle zu einem Nocken, zum Beispiel dem maximalen Hub des ersten Nockens, eindeutig erkannt. Aus der verstrichenen Zeit zwischen dem Ereignis "fehlender Zahn an Kurbelwelle" und dem Ereignis "Triggerradzahn Nockenwelle kommt an Nockenwellensensor vorbei" kann man die Winkellage der Nockenwelle relativ zur Kurbelwelle bestimmen. Die verstrichene Zeit ermittelt das Steuergerät aus den gesetzten "Zeitmarken" zu den Ereignissen. Die Zeitmarken werden über einen hochfrequent schwingenden Oszillatorquarz gesetzt bzw. erzeugt. Über die Getriebegrundgleichung ist spätestens zu diesem Zeitpunkt die Rotorlage eindeutig bestimmbar.

- Eine zweite Art der Synchronisierung kann man dadurch erreichen, dass der Versteller auf den mechanischen Endanschlag fährt. Wird diese Position erreicht, so ist die Position der Nockenwelle relativ zur Kurbelwelle und damit über die Dreiwelengleichung auch die Rotorposition bekannt. Dies funktioniert
- 5 hierbei sogar ohne Nockenwellensensor. Nachteilig an dieser Art der Synchronisation ist der Einfluss der Steuertriebdehnung durch Temperaturänderung, und/oder Alterung des Riemens bzw. Längung der Steuerkette auf die Genauigkeit der Erfassung der Nockenwellenposition.
- 10 Es kann sein, dass an Stelle des Zahnkranzes an der KW ein sogenannter Resolver oder ein dem Resolver funktionsgleiches Bauteil angebracht wird. Der Resolver ist im Prinzip ein hochauflösender Drehgeber, der die Winkel- bzw. Drehzahlerfassung des Kurbelwellensignals ermöglicht.
- 15 An Stelle der drei Hallgeber bzw. der genannten Alternativsensoren kann ein Resolver als Basis zur Kommutierung des BLDC-Motors verwendet werden. Dieser kann während einer Umdrehung des Rotors nicht nur eine Signalfrequenz von 'Anzahl Hallsensoren x Polzahl' sondern eine wesentlich höhere Auflösung erreichen. Die Resolverfunktion kann gleichermaßen in die bereits er-
- 20 wählten Bauelemente "Sensorlager" oder "Sensordichtring" integriert werden.
- Die Aufgabe der Erfindung wird auch durch die Merkmale des Verfahrensanspruchs 5 gelöst. Die additive und multiplikative Verknüpfung der Kommutierungs- und Triggersignale bietet einen unaufwändigen Weg zur Berechnung
- 25 des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$ .

Eine vorteilhafte Ausbildung der Erfindung besteht darin, dass der Verdrehwinkel  $\Delta\Phi$  aufgrund der folgenden zählerbasierten Beziehung berechnet wird:

$$30 \quad \Delta\Phi = \left( \left( \text{Anzahl}_{\text{Referenzmarke}} + \frac{\text{Anzahl}_{\text{Trigger}}}{\text{Gesamtzahl}_{\text{Trigger}}} \right) \times \frac{1}{2} - \frac{\text{Anzahl}_{\text{Halligrale}}}{\text{Anzahl}_{\text{Magnetpole}}} \right) \times \frac{360}{i}$$

Dabei bedeuten:

Anzahl<sub>Hallsignale</sub> = Anzahl der Signale eines Hallsensors, die sich aus dem Quotienten der Anzahl der Signale aller Hallsensoren und der Anzahl der Hallsensoren ergibt

5 Anzahl<sub>Magnetpole</sub> = Anzahl der Magnetpole des Dauermagnetrotors;

Anzahl<sub>Referenzmarke</sub> = Anzahl der Referenzmarken des Kurbelwellentriggerrads;

10 Gesamtzahl<sub>Trigger</sub> = Anzahl der Triggermarken auf dem Kurbelwellentriggerrad;

Anzahl<sub>Trigger</sub> = Anzahl der gezählten Triggermarken seit der letzten Referenzmarke;

15  $i$  = Getriebeübersetzung zwischen Verstellwelle und Nockenwelle bei festgehaltenem Kettenrad.

20 Von Vorteil ist, dass die nach Durchlaufen einer Referenzmarke ermittelten Triggermarkensignale nach Erreichen der nächsten Referenzmarke gelöscht werden. Auf diese Weise wird vermieden, dass es aufgrund von Zählerfehlern zu Verstellfehlern kommt. Außerdem wird so die erforderliche Größe der Speicher begrenzt.

25 Eine vorteilhafte Weiterentwicklung der Erfindung besteht darin, dass eine Drehrichtungsänderung des BLDC-Motors durch Auswertung der dabei auftretenden Änderung der Kommutierungssignale ermittelt wird, wozu diese differenziert werden und das Differenzial der Kommutierungssignale eines der drei Hallsensoren mit dem Status (High/Low) der Differenziale der Kommutierungssignale der beiden anderen Hallsensoren kombiniert wird. Auf diese Weise wird eine Drehrichtungsänderung durch entsprechende Software erkannt.

30

Die zeitbasierte Bestimmung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  nach der Beziehung

$$\Delta\Phi = \int \frac{(n_{kw} + 2 - n_{vw})}{i} \times dt$$

benötigt erheblich weniger Speicherplätze als die zählerbasierte.

Von Vorteil für eine schnelle und exakte Berechnung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  ist auch, dass die zähler- und die zeitbasierte Ermittlung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  kombinierbar sind.

- 5    Dadurch, dass die Nockenwelle bei zähler- und zeitbasierter Ermittlung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  in regelmäßigen Abständen eine Referenzposition, beispielsweise eine Basisposition mit mechanischem Anschlag, anfährt oder sich zu einer Flanke des Nockenwellentriggerrades synchronisiert, um die Zähler zu Nullen, wird eine exakte Berechnung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  bei verringerter
- 10    Speichergröße sichergestellt.

- Eine Einsparung von Speicherplätzen und Rechnerkapazität wird auch dadurch erreicht, dass bei ganzzahligem Verhältnis der Kurbelwellensignale zu mindestens einem Sensorsignal der Verstellwelle die Phasenlage der Nockenwelle
- 15    zur Kurbelwelle durch Auswertung der Differenz dieser Signale in einem Positionsregler bestimmt wird, der vorzugsweise mit aufgeschalteter Nockenwellen- oder Kurbelwellendrehzahl arbeitet. Solange am Verstellgetriebe keine Verstellung erfolgt, läuft dieses als Ganzes um, so dass die Drehzahldifferenz Null ergeben muss. Erfolgt eine Verstellung durch das Verstellgetriebe, ergibt sich
- 20    eine Differenz zwischen den Verstellwellensignalen und den Kurbelwellensignalen. Da das Getriebe in seinen Übersetzungen fest liegt, kann jeder Signaldifferenz eine eindeutige Phasenlage der Nockenwelle zugeordnet werden. Somit erfordert das Arbeiten mit der Signaldifferenz anstelle der Summe der Einzelsignale eine geringere Speicherkapazität und Rechenleistung. Das Nok-
- 25    kenwellensignal kann zusätzlich zur Erhöhung der Auflösung der Phasenlage bzw. zur Plausibilisierung der Phasenlage erfasst und rechnerisch verarbeitet werden.

- Vorteilhaft ist auch, dass die Nockenwelle nach Abstellen der Zündung und
- 30    beim Auslaufen des Verbrennungsmotors durch einen nachlaufenden BLDC-Motor bzw. durch einen Steuergeräte-Nachlauf in jede gewünschte Position verstellbar ist. Auf diese Weise entfällt beim Motorstart der Zeitverlust durch



Anfahren des gewünschten Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  der Nockenwelle, so dass ein sofortiger Start mit dem optimalen Verdrehwinkel  $\Delta\Phi$  gewährleistet ist.

### Kurze Beschreibung der Zeichnung

5

Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung und der Zeichnung, in der ein Ausführungsbeispiel der Erfindung schematisch dargestellt ist.

- 10 Die Zeichnung zeigt dabei einen elektromechanischen Nockenwellenversteller mit einem als Dreiwellengetriebe ausgebildeten Verstellgetriebe und einem elektrischen Verstellmotor.

### Ausführliche Beschreibung der Zeichnung

15

Die einzige Zeichnung zeigt den Grundaufbau eines elektromechanischen Nockenwellenverstellers, bei dem die erfindungsgemäße Lösung zum Einsatz gelangt.

- 20 Eine Verbindung der Nockenwelle 5 mit einer nicht dargestellten Kurbelwelle erfolgt über ein dreiwelliges Verstellgetriebe 1. Die erste Welle 3 des Verstellgetriebes 1 ist mit der Nockenwelle 5 verdrehfest verbunden, die zweite Welle 4 über ein Nockenwellenantriebsrad 7 mittels Kette oder Zahnriemen mit der Kurbelwelle und als dritte Welle eine Verstellwelle 6 mit einem Dauermagnetmotor 8 eines als BLDC-Motor 2 (bürstenloser Gleichstrommotor) ausgebildeten Verstellmotors. Ein Stator 9 desselben ist mit einem Gehäuse 10 des Verbrennungsmotors fest verbunden. Der Stator ist dreiphasig ausgebildet.

- 30 Der BLDC-Motor 2 wird über Kommutierungssignale elektronisch kommutiert. Die Kommutierungssignale werden durch die Drehbewegung des Dauermagnetmotors 8 in drei Hallsensoren gebildet, die den drei Phasen des Stators 9 zugeordnet sind.

Der Dauermagnetrotor 8 ist am Umfang mehrpolig magnetisiert. Bei jeder Umdrehung gibt ein bipolarer Hallsensor pro Pol ein Signal aus, d. h. bei einem achtpoligen Magneten acht Signale. Bei unipolaren Hallsensoren wird nur die halbe Anzahl an Signalen ausgegeben.

5

Da die Nockenwelle 5 über das Dreiwellengetriebe 1 mit dem BLDC-Motor 2 in direkter Verbindung steht, kann die Lage der Nockenwelle 5 mit den Hallsensoren bzw. deren Kommutierungssignalen wie folgt bestimmt werden:

10 Die Drehzahlgleichung eines Dreiwellengetriebes lautet wie folgt:

$$n_{VW} - n_{NW} \times i + n_{Kette} \times (i - 1) = 0 \quad (1)$$

wobei

$n_{NW}$  = Drehzahl Nockenwelle 5

15  $n_{Kette}$  = Drehzahl Nockenwellenantriebsrad 7

$n_{VW}$  = Drehzahl Verstellwelle 6

$i$  = Getriebeübersetzung

bedeutet.

20 In Winkeln ausgedrückt gilt:

$$\Phi_{VW} - \Phi_{NW} \times i + \Phi_{Kette} \times (i - 1) = 0 \quad (2)$$

mit:

$\Phi_{NW}$  = zurückgelegter Winkel Nockenwelle 5;

25  $\Phi_{Kette}$  = zurückgelegter Winkel Nockenwellenantriebsrad 7;

$\Phi_{VW}$  = zurückgelegter Winkel Verstellwelle 6.

Für den Verstellwinkel gilt:

$$30 \quad \Delta\Phi = \Phi_{Kette} - \Phi_{Nockenwelle} \quad (3)$$

(2) in (3) ergibt:

$$\Delta\Phi = (\Phi_{Kette} - \Phi_{VW}) \div i \quad (4)$$

Für die zurückgelegten Winkel der einzelnen Wellen gilt:

$$\Phi = U \times 360^\circ \quad (5)$$

mit:

5  $U = \text{Anzahl der Umdrehungen der jeweiligen Welle.}$

(5) in (4) ergibt:

$$\Delta\Phi = (U_{\text{Kette}} - U_{\text{VW}}) \times 360^\circ \div i \quad (6)$$

10

Die Anzahl der Umdrehungen des Verstellmotors kann direkt aus der Anzahl der Hallsignale eines Hallsensors wie folgt berechnet werden:

$$U_{\text{VW}} = \frac{\text{Anzahl}_{\text{Hallsignale}}}{\text{Anzahl}_{\text{Magnetpole}}} \quad (7)$$

15

Die Anzahl der Hallsignale ergibt sich dabei aus dem Quotienten der Anzahl der Signale aller Hallsensoren und der Anzahl der Hallsensoren.

An einem nicht dargestellten Kurbelwellentriggerrad befindet sich zur Erkennung des Zylinders 1 eine Referenzmarke, mit der die Anzahl der Umdrehungen des Nockenwellenantriebsrades 7 ermittelt werden kann:

20

$$U_{\text{Kette}} = \left( \text{Anzahl}_{\text{Referenzmarke}} + \frac{\text{Anzahl}_{\text{Trigger}}}{\text{Gesamtanzahl}_{\text{Trigger}}} \right) \div 2 \quad (8)$$

mit:

Gesamtanzahl<sub>Trigger</sub> = Anzahl der Triggermarken auf dem Kurbelwellentrigger-  
rad

25

Anzahl<sub>Trigger</sub> = Anzahl der ermittelten Triggermarken seit der letzten Referenzmarke.

Die Anzahl der ermittelten Triggermarken wird nach dem Erreichen einer neuen Referenzmarke wieder genullt.

30

Mit (7) und (8) in (6) kann der Verstellwinkel  $\Delta\Phi$  direkt aus der Anzahl der Hall-signale und der Anzahl der Referenz- und Triggermarkensignale des Kurbelwellentriggerrads ermittelt werden:

$$5 \quad \Delta\Phi = \left[ \left( \text{Anzahl}_{\text{Referenzmerke}} + \frac{\text{Anzahl}_{\text{Trigger}}}{\text{Gesamtanzahl}_{\text{Trigger}}} \right) \div 2 - \frac{\text{Anzahl}_{\text{Hallisignale}}}{\text{Anzahl}_{\text{Magnetpole}}} \right] \times \frac{360^\circ}{i} \quad (9)$$

Zum Regeln des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  werden sowohl die Hallsignale des BLDC-Motors 2 als auch die Referenz- und Triggermarkensignale des Kurbelwellentriggerrads aufaddiert. Über die Gleichung (9) lässt sich somit immer die aktuelle Position der Nockenwelle 5 bestimmen.

Um zu vermeiden, dass es aufgrund von Zählfehlern zu Verstellfehlern kommt, werden in regelmäßigen Abständen und bei geeigneten Fahrzuständen die Nockenwelle 5 in eine Referenzposition, z. B. eine Basisposition mit mechanischem Anschlag gefahren, die Zähler genullt und wieder mit dem Aufaddieren begonnen. Obwohl durch das Hochzählen mit sehr großen Zahlen gerechnet wird, werden durch das Nullen Speicherplätze gespart.

Über die Hallsensoren wird auch die Drehrichtung des BLDC-Motors ermittelt, da sich diese je nach Verstellrichtung ändern kann. In diesem Fall werden die Hallsignale vom Zähler subtrahiert.

Die Drehrichtung kann durch Auswertung der Reihenfolge der Signale der drei Hallsensoren ermittelt werden. Eine Erkennung ist jeweils dann möglich, wenn sich eines der Hallsignale ändert. Um dies zu erkennen werden die Signale der Hallsensoren ABC differenziert. Die Drehrichtung kann ermittelt werden, wenn das Differenzial mit dem Status (High/Low) eines anderen Signals kombiniert wird.

Beim Abstellen des Verbrennungsmotors werden die Zähler in einen RAM bzw. EPROM des Steuergeräts gespeichert, so dass beim Motorstart sofort bekannt ist, in welcher Position die Nockenwelle steht. Des Weiteren ist es von Vorteil,

aktive, speicherfähige Hallsensoren zu verwenden, die bereits bei angelegter Spannung auf Nord- bzw. Südpol reagieren.

Da die Position der Nockenwelle 5 insbesondere bei Verwendung eines aktiven, speicherfähigen Hallsensors unmittelbar nach Betätigung des Zündschlosses bzw. bei Drehbeginn von Kurbel- und Nockenwelle 5 erkannt werden, kann ein Verstellen und Halten der Sollverstellposition auch beim Startvorgang des Verbrennungsmotors erfolgen. Dies ist wegen der damit verbundenen Reduzierung von Brennstoffverbrauch und Abgasemission vorteilhaft. Im gleichen Maße kann auch jede gewünschte Verstellposition während des Abstellens des Fahrzeugs nach Drehen des Zündschlüssels angefahren werden. Dies wird durch einen aktiven Nachlauf des BLDC-Motors 2 bzw. des Steuergerätes erreicht. Vorteilhaft ist hier die Vermeidung des Zeitverlusts beim Anfahren des gewünschten Verdrehwinkels beim Motorstart.

Da für die zuvor beschriebene zählerbasierte Variante der Verdrehwinkelbestimmung sehr viel Speicherplatz benötigt wird, ist nachfolgend eine Variante beschrieben, die auf einer zeitbasierten Ermittlung des Verdrehwinkels beruht.

Bei der zeitbasierten Variante erfolgt die Verdrehwinkelermittlung über die Drehzahldifferenz zwischen Kurbelwelle und Verstellwelle 6.

Die Drehzahl der Kurbelwelle wird ermittelt, indem man die Zeit bestimmt, die zwischen zwei oder mehr Kurbelwellentriggermarken vergeht. Da die Triggermarken einen festen Winkel zueinander haben ergibt sich die Geschwindigkeit:

$$n_{KW} = \Delta\Phi_{\text{Triggermarken}} \div \Delta t$$

mit:

- $n_{KW}$  = Kurbelwellendrehzahl;  
 30  $\Delta\Phi_{\text{Triggermarken}}$  = Winkel zwischen zwei oder mehr Kurbelwellentriggermarken;  
 $\Delta t$  = Zeit, die zwischen zwei oder mehr Triggermarken vergeht.

Die Drehzahl des BLDC-Motors 2 kann durch die Zeit bestimmt werden, die zwischen zwei oder mehr Signalen auf der Verstellwelle vergeht.

$$n_{vw} = \Delta\Phi_{\text{Magnetpole}} \div (\Delta t' \times k)$$

5 mit:

$\Delta\Phi_{\text{Magnetpole}}$  = Winkel zwischen zwei Magnetpolen;

$\Delta t'$  = Zeit, die zwischen zwei Signalen auf der Verstellwelle vergeht;

K = Konstante, die Anzahl von Sensorsignalen zwischen zwei Magnetpolen beinhaltet.

10

Der Verstellwinkel lässt sich wie folgt bestimmen:

$$\Delta\Phi = \int \frac{(n_{kw} \div 2 - n_{vw})}{i} \times dt$$

- 15 Auch bei der zeitbasierten Verdrehwinkelermittlung ist ein Anfahren einer Referenzmarke zum Nullen des Systems denkbar. Es ist aber auch denkbar, dass die Synchronisierung zwischen der Kurbelwelle, der Verstellwelle und der Nockenwelle in der oben bereits beschriebenen Art erfolgt. Ebenso ist auch eine Kombination aus zähler- und zeitbasierter Verdrehwinkelermittlung möglich.

## Bezugszeichenliste

	1	Dreiwellengetriebe
	2	BLDC-Motor
5	3	Erste Welle
	4	Zweite Welle
	5	Nockenwelle
	6	Verstellwelle
	7	Nockenwellenantriebsrad
10	8	Dauermagnetrotor
	9	Stator
	10	Gehäuse

**INA-Schaeffler KG,  
Industriestraße 1 – 3, 91074 Herzogenaurach  
ANR 12 88 48 20**

5 4223-10-DE

**Patentansprüche**

- 10 1. Vorrichtung zum Bestimmen des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  zwischen zwei Wellen, insbesondere zwischen einer Nockenwelle (5) und der Kurbelwelle eines Verbrennungsmotors, der einen Nockenwellenversteller mit einem elektronischen Regler und Mittel zur Bestimmung der Drehwinkellage der Nockenwelle (5) und der Kurbelwelle aufweist, **dadurch gekennzeichnet**,  
15 dass an der Kurbelwelle zur Bestimmung der Drehwinkellage der Kurbelwelle ein Kurbelwellentriggerrad mit Referenz- und Triggermarken befestigt ist und dass ein elektromechanischer Nockenwellenversteller vorgesehen ist, der ein Dreiwellengetriebe (1) aufweist, dessen erste Welle (3) mit der Nockenwelle (5), dessen zweite Welle (4) über ein Nockenwellenantriebsrad (7) mit der Kurbelwelle und dessen dritte Welle als Verstellwelle (6) mit einem Dauermagnetrotor (8) eines BLDC-Motors (2) drehfest verbunden sind, wobei der BLDC-Motor (2) einen gehäusefesten Stator (9) mit vorzugsweise drei Phasen und eine elektronische Kommutierung aufweist, die durch Kommutierungssignale gesteuert ist, die gleichzeitig zur Bestimmung  
20 der Drehwinkellage der Nockenwelle (5) und zusammen mit den Signalen des Kurbelwellentriggerrads zur Berechnung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  zwischen Nockenwelle (5) und Kurbelwelle dienen.
- 25 2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kurbelwellentriggerrad als Zahnkranz oder Resolver ausgebildet ist und dass die Kommutierungssignale durch Hall- oder Reluktanzsensoren, durch optische, induktive oder kapazitive Sensoren oder sensorlos durch Selbstinduktion in den Phasen des Stators (9) erzeugbar sind.  
30



3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sensoren in Bauteilen des BLDC-Motors (2) einbaubar sind, die mit Rotordrehzahl umlaufen, wie z. B. Lager- oder Dichtringe.
- 5 4. Vorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein RAM bzw. ein EPROM in einem Steuergerät oder ein aktiver, speicherfähiger Hallsensor vorgesehen sind, die die Zähler und damit die Position der Nockenwelle (5) im Stillstand oder beim Anlassen des Verbrennungsmotors speichern bzw. erkennbar machen.
- 10 5. Verfahren zum Bestimmen des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  zwischen einer Nockenwelle (5) und der Kurbelwelle eines Verbrennungsmotors, insbesondere unter Verwendung der Merkmale des unabhängigen Vorrichtungsanspruchs 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verdrehwinkel  $\Delta\Phi$  durch additive und multiplikative Verknüpfungen der Kommutierungs- und Triggerradssignale berechnet wird.
- 15 6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine zählerbasierte Berechnung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  unter Verwendung der Kommutierungssignale von Hallsensoren auf folgender Beziehung beruht:
- 20
- $$\Delta\Phi = \left[ \left( \text{Anzahl}_{\text{Referenzmarke}} + \frac{\text{Anzahl}_{\text{Triggenmarke}}}{\text{Gesamtzahl}_{\text{Triggenmarken}}} \right) \times \frac{1}{2} - \frac{\text{Anzahl}_{\text{Hallisignale}}}{\text{Anzahl}_{\text{Magnetpole}}} \right] \times \frac{360}{i}$$
- 25 7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die nach Durchlaufen einer Referenzmarke ermittelten Triggermarkensignale nach Erreichen der nächsten Referenzmarke gelöscht werden.
- 30 8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Drehrichtungsänderung des BLDC-Motors (2) durch Auswertung der dabei auftretenden Änderung der Kommutierungssignale ermittelt wird, wozu diese differenziert werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Differenzial der Kommutierungssignale eines der drei Hallsensoren mit dem Status (High/Low) der Differenziale der beiden anderen Kommutationssignale kombiniert wird.

5

10. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine zeitbasierte Berechnung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  auf der folgenden Beziehung beruht:

$$\Delta\Phi = \int \frac{(n_{KW} \div 2 - n_{VW})}{i} \times dt, \text{ wobei}$$

10

$n_{KW}$  = Kurbelwellendrehzahl;

$n_{VW}$  = Drehzahl des BLDC-Motors (2) und

$i$  = Getriebeübersetzung zwischen der Verstellwelle (6) und der Nockenwelle (5) bei stillstehendem Antriebsrad (7) bedeuten.

15

11. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zähler- und die zeitbasierte Ermittlung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  miteinander kombinierbar sind.

20

12. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Nockenwelle (5) bei zähler- und zeitbasierter Ermittlung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  in regelmäßigen Abständen eine Referenzposition, beispielsweise eine Basisposition mit mechanischem Anschlag anfährt, um die Zähler zu Nullen.

25

13. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei ganzzahligem Verhältnis der Kurbelwellen- und Nockenwellensignale die Phasenlage der Nockenwelle zur Kurbelwelle durch Auswertung der Differenz dieser Signale in einem Positionsregler bestimmt wird, der vorzugsweise mit aufgeschalteter Nockenwellen- oder Kurbelwellendrehzahl arbeitet

30

14. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Nockenwelle (5) nach Abstellen der Zündung und beim Auslaufen des Verbrennungsmotors durch einen nachlaufenden BLDC-Motor (2) bzw. durch einen Steuergeräte-Nachlauf in jede gewünschte Position verstellbar ist.

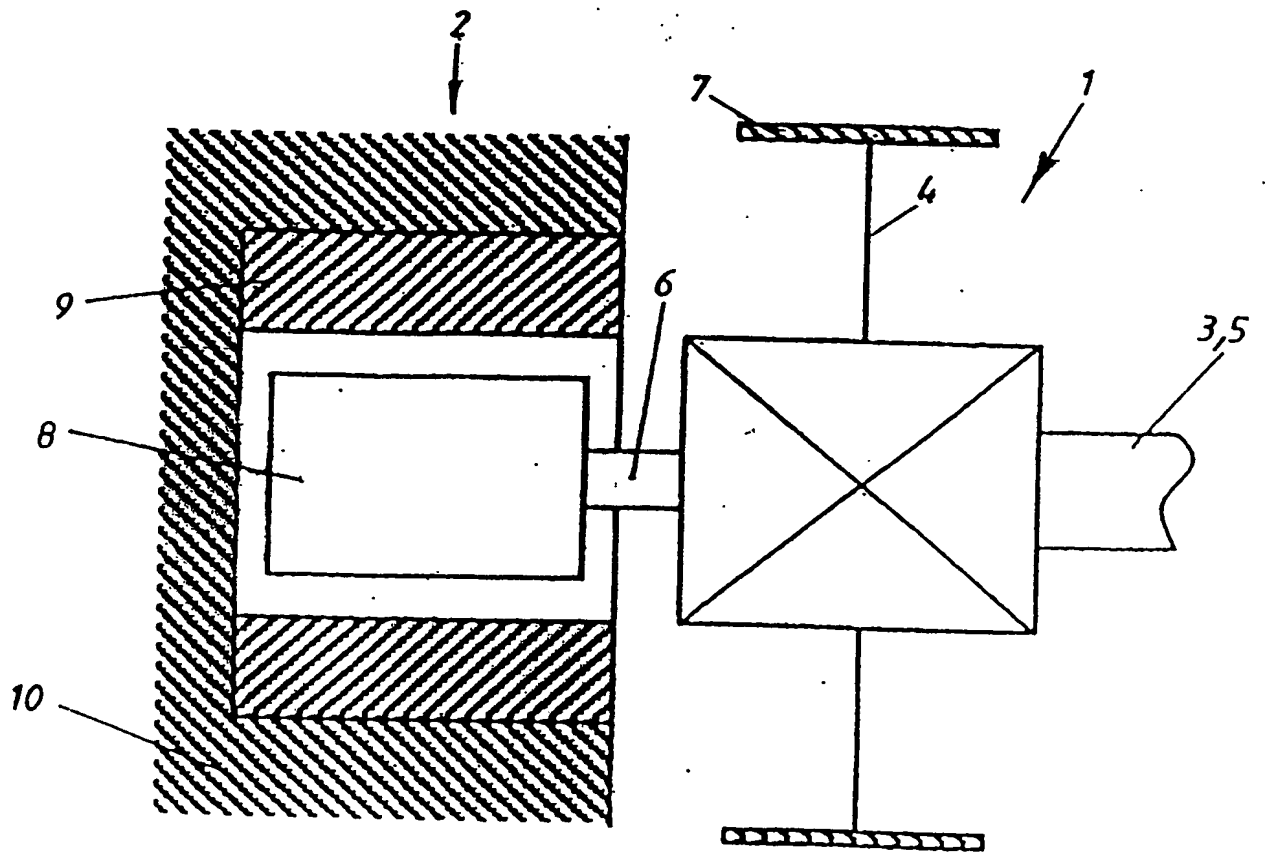
**INA-Schaeffler KG,  
Industriestraße 1 – 3, 91074 Herzogenaurach  
ANR 12 88 48 20**

5 4223-10-DE

**Zusammenfassung**

- 10 Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Bestimmen des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  zwischen einer Nockenwelle (5) und der Kurbelwelle eines Verbrennungsmotors, der einen Nockenwellenversteller mit einem elektronischen Regler und Mitteln zur Bestimmung der Drehwinkellage der Nockenwelle (5) und der Kurbelwelle aufweist.
- 15 Gegenüber einem hydraulischen Nockenwellenversteller wird eine Erhöhung der Verstellgeschwindigkeit und Exaktheit dadurch erreicht, dass an der Kurbelwelle zur Bestimmung der Drehwinkellage der Kurbelwelle ein Kurbelwellentriggerrad mit Referenz- und Triggermarken befestigt ist und dass ein elektromechanischer Nockenwellenversteller vorgesehen ist, der ein Dreiwellenge-
- 20 triebe (1) aufweist, dessen erste Welle (3) mit der Nockenwelle (5), dessen zweite Welle (4) über ein Nockenwellenantriebsrad (7) mit der Kurbelwelle und dessen dritte Welle als Verstellwelle (6) mit einem Dauermagnetrotor (8) eines BLDC-Motors (2) drehfest verbunden sind, wobei der BLDC-Motor (2) einen
- 25 gehäusefesten Stator (9) mit vorzugsweise drei Phasen und eine elektronische Kommutierung aufweist, die durch Kommutierungssignale gesteuert ist, die gleichzeitig zur Bestimmung der Drehwinkellage der Nockenwelle (5) und zusammen mit den Signalen des Kurbelwellentriggerrads zur Berechnung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  zwischen Nockenwelle (5) und Kurbelwelle dienen.
- 30

**einzigste Figur**



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**